

## METODYKA WYZNACZANIA PROCEDURY DIAGNOZOWANIA STANU MASZYN

Henryk TYLICKI

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów  
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz  
tel. (52) 340 82 83, tylicki@atr.bydgoszcz.pl

### Streszczenie

Proces rozpoznawania stanu technicznego maszyn, w wyniku którego wyznacza się optymalny program diagnostyczny, termin i zakres obsługi oraz ustala przyczynę wystąpienia stanu w chwili badania maszyny jest niezbędnym warunkiem poprawnego funkcjonowania systemu eksploatacji według stanu. Użytkownik, na podstawie informacji diagnostycznej uzyskuje możliwość utrzymania maszyny w stanie zdatności. Niezbędnym elementem takiego sterowania jest algorytm sterowania, zawierający procedurę wyznaczania, obok terminu i zakresu obsługi maszyny oraz genezy stanu, testu diagnostycznego w chwili badania maszyny. Czynione są próby opracowania takich procedur, na podstawie których możliwe byłoby wyznaczanie optymalnego testu diagnostycznego maszyny. Sposoby ich wyznaczania, problemy z tym związane oraz propozycje ich rozwiązania przedstawia się w niniejszym opracowaniu. Opracowanie zawiera metodykę wyznaczania optymalnej procedury diagnozowania. Na podstawie badań zaproponowano niektóre elementy rozwiązania zadania optymalizacyjnego.

Słowa kluczowe: Diagnostyka techniczna, diagnozowanie stanu maszyn, optymalizacja procesu rozpoznawania stanu

### THE METHODICS OF MACHINES CONDITION DIAGNOSIS

#### Summary

It the process of diagnostics of machines condition, it the diagnostic program, and range of service in result which was set the a term was well as establishes the cause of pronouncement in moment of investigation of machine the state it is the indispensable condition correct kelter of their system of exploitation. User, on the ground diagnostic information, it creates the master information of maintenance in state of fitness machine engine. The algorithm of steering is indispensable unit of such steering, including the procedures of marking the diagnostic program, deadline and range of service in moment of investigation the machine engine as well as origin of state. Tests of study of such procedures be acted, on the ground which possible the marking the diagnostic optimum program, optimum deadline and range of service of machine engine as well as settlement of causes of pronouncement in moment of investigation of machine state would be. The, prognosis and origin of state of machine engines essential problem of study of diagnosis is both on stage working out her construction, production and exploitation of machine. Study contains the methodology of marking the optimum procedures of machine state recognizing (diagnosis, forecasting, genesisisting). The investigations on the ground were proposed some units of solution of optimization task.

Key words: technical diagnostic, technical state diagnosing, state recognizing process optimisation

#### 1. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

Rozpoznawanie stanu maszyny jest to proces, który powinien umożliwić:

- a) określenie stanu technicznego w czasie bieżącym na podstawie wyników badań diagnostycznych, co umożliwi kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń w przypadku stanu niezdatności maszyny.

- b) przewidywanie stanu maszyny w czasie przyszłym na podstawie niepełnej lub niepewnej historii wyników badań diagnostycznych, umożliwia ono oszacowanie czasu niezawodnego użytkowania maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przyszłości pracy.
- c) przewidywanie stanu maszyny w czasie przeszłym na podstawie niepełnej lub niepewnej historii wyników badań

diagnostycznych, umożliwia ono oszacowanie stanu maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przeszłości pracy.

Problem opracowania diagnozy, prognozy i genezy stanu maszyn istotny jest zarówno na etapie opracowywania jej konstrukcji, produkcji i eksploatacji maszyny. Przystępując do wyznaczania testów kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń maszyn natrafia się na problemy, które można zakwalifikować do odpowiednich grup:

- a) czy zbiór parametrów diagnostycznych jednoznacznie opisuje stan maszyny, czy jest skorelowany ze zmianą stanu maszyny, czy zawiera odpowiednią ilość informacji o stanie maszyny;
- b) czy zbiór parametrów diagnostycznych jest stabilny, czy też wykazuje istotne zmiany a jeśli tak, to jaki jest charakter tych zmian w zależności od czynników wynikających z eksploatacji maszyn;
- c) w jaki sposób na stabilność testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń wpływają czynniki charakterystyczne dla eksploatacji maszyn, mianowicie: podatność diagnostyczna maszyn, wartość poziomu wiarygodności diagnozy (o którym może decydować użytkownik maszyny), zmienne warunki eksploatacji i zmienna niezawodność zespołów maszyny.

Trafne rozwiązanie tych problemów jest niezbędne do efektywnego diagnozowania stanu maszyn, a tym samym wymusza konieczność badania wrażliwości procedur optymalnego diagnozowania na powyższe czynniki. Jeżeli badanie wykazuje, że wyznaczone procedury są stabilne wówczas można je wykorzystać do wyznaczania testów kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń maszyn. W przeciwnym wypadku należy podjąć decyzję o modyfikacji założeń i ograniczeń procesu wyznaczania procedur diagnozowania, np. poprzez świadome nieuwzględnienie czynników wywołujących niestabilność rozwiązania i tym samym zmniejszenie uniwersalności otrzymanego rozwiązania.

Proces diagnozowania stanu maszyny jest to pewien zbiór czynności, które występują w odpowiedniej kolejności [2,3].

1. Wielkościami wejściowymi są: zamierzony cel diagnostyczny, wartości symptomów, posiadane możliwości realizacji odpowiednich możliwości (metody redukcji zbioru symptomów, metody budowy testów) oraz informacje o obiekcie badań i jego otoczeniu. Wielkością wyjściową jest wynik realizacji procesu wyznaczania diagnozy.
2. Analiza zadania diagnostycznego zależy od rodzaju maszyny. W zależności od tego, jaka jest to maszyna oraz jakie jej cechy stanu są celem badania diagnostycznego, należy rozpatrzyć możliwe oddziaływania różnorodnych czynników

otoczenia, a szczególnie ich wpływ na przebieg procesów zużyciowych.

3. Etap wyznaczania zbioru wartości symptomów i notacji stanów maszyn związany jest z czynnościami wyboru i redukcji informacji uzyskanych podczas diagnozowania maszyn. Konsekwencją realizacji tego etapu powinno być uzyskanie optymalnego zbioru danych w postaci wartości symptomów oraz występujących stanów w chwilach  $\Theta_i$ ,  $\Theta_i \in (\Theta_l, \Theta_b)$ .
  4. Etap wyboru metody wyznaczania testu diagnostycznego jest zasadniczym elementem procesu diagnozowania. Wybór właściwej metody jest trudny, ponieważ uwarunkowany jest nie tylko dostępną liczbą danych czy informacji wyznaczających granice poznania istoty fizycznej diagnozowanych zjawisk, lecz także względami realizacyjnymi (np. przy realizacji eksperymentu biernego maszyn), które determinują, w jakich okolicznościach i przy użyciu, jakich środków będzie realizowane wyznaczanie diagnozy. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest konieczność podjęcia problemu wyboru metod wyznaczania testu diagnostycznego. W trakcie wyboru rozwiązania należy zwrócić uwagę na to, aby spełniały one postulaty wynikające z właściwości maszyny a przede wszystkim opierały się na małej liczbie elementów szeregu czasowego wraz z informacją o stanach maszyny oraz aby cechowała je zdolność szybkiej adaptacji do możliwych zmian obserwowanych symptomów. Istotną sprawą powinna być też możliwość algorytmizacji i możliwość sensownej interpretacji wyników procesu diagnozowania stanu maszyny.
  5. Etap weryfikacji przyjętego rozwiązania polega na ocenie stopnia wiarygodności i dokładności diagnozy ocenianej według przyjętego kryterium. W praktyce przydatność metody wyznacza, przeważnie możliwy do przyjęcia, rząd wielkości błędu diagnozy.
  6. Końcowym etapem realizacji komentowanych etapów procesu wyznaczania diagnozy jest ocena osiągniętych wyników, tzn. porównanie, na ile rezultaty odpowiadają zamierzonemu celowi. Konsekwencją takiej oceny powinna być decyzja o akceptacji przyjętego sposobu rozwiązania lub, jeśli rozwiązania są niezadowolające, konieczność jego modyfikacji.
- Głównymi problemami pojawiającymi się przy wyznaczaniu procedury wyznaczania testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń maszyn są więc:
- a) sformułowanie celu diagnozowania stanu maszyny;
  - b) określenie zmiany stanu maszyny w czasie eksploatacji;
  - c) opis stanu maszyny za pomocą cech stanu oraz zależność pomiędzy cechami stanu i parametrami diagnostycznymi;
  - d) rozwiązanie zadania diagnozowania stanu.

Stan maszyny  $W(\Theta_n)$  w chwili czasu  $\Theta_n$  można scharakteryzować za pomocą zbioru wartości symptomów  $s_j(\Theta)$ ;  $e_j, \dots, m$  [2,6]. Maszyna w chwili  $\Theta_b$  (zadanie diagnozowania stanu maszyny) znajduje się w stanie zdadności  $S^0$ , gdy spełniony jest warunek:

$$W(\Theta_n) = W^0 \Leftrightarrow \forall (j=1, \dots, m) [\{s_{j,d}\} \leq \{s_j(\Theta_b)\} \leq \{s_{j,g}\}] \quad (1)$$

gdzie:  $\{s_{j,d}\}$ ,  $\{s_{j,g}\}$  - zbiory dolnych i górnych wartości granicznych symptomów.

Głównymi problemami pojawiającymi się przy rozwiązaniu tak ujętych zadań jest:

- wybór „najlepszych” parametrów diagnostycznych opisujących aktualny stan i jego zmianę w czasie eksploatacji maszyny;
- wyznaczenie testu diagnostycznego za pomocą „najlepszej” metody;

Użyte powyżej pojęcie „najlepsze” wiąże się z przyjęciem odpowiednich kryteriów i rozpatrzenie tych problemów w kategoriach poszukiwania rozwiązania optymalnego. Formułując zadanie optymalizacyjne posługuje się najczęściej wieloma kryteriami oceny, co wymaga rozpatrzenie tych problemów w kategoriach rozwiązania polioptymalnego dla poszczególnych zadań (optimum lokalne) lub dla zadania rozpoznawania stanu maszyny (kryterium globalne).

## 2. METODY REDUKCJI ZBIORU PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Parametry struktury maszyny  $W$  są wielkościami zmiennymi w czasie  $W = f(\Theta)$  i w okresie eksploatacji zależą od przebiegu procesów wymuszających starzenie maszyny. Od wartości parametrów struktury zależy stan techniczny maszyny i jest przez nie zdeterminowany. Na podstawie wyników analiz literaturowych [2,3,4,6] oraz badań własnych [5] ustalono, że parametry diagnostyczne odzwierciedlają stan techniczny maszyn i zależą od zmian parametrów struktury i czasu eksploatacji maszyn.

$$Y = f(W(\Theta)) \Rightarrow Y = f(\Theta) \quad (2)$$

Przyjmując założenie o stacjonarności zmian wartości parametrów diagnostycznych można na podstawie obserwacji wartości parametrów diagnostycznych maszyn w czasie  $\Theta_i \in \Theta$  wnioskować o wartościach parametrów w całym przedziale czasu  $(\Theta_1, \Theta_b)$ , co umożliwia diagnozowanie maszyn bez wyznaczania uciążliwego, a niekiedy niemożliwego dla maszyn eksperymentu czynnego i ograniczenia się tylko do eksperymentu biernego.

Zbiór parametrów diagnostycznych  $Y$  wyróżnia się ze zbioru parametrów wyjściowych

$Y_{WY}$ , które opisują przebieg procesów wyjściowych (procesy robocze i towarzyszące), uzależnionych od stanu technicznego maszyn. Wzajemny związek parametrów struktury  $W$  i parametrów wyjściowych pozwala przy spełnieniu podanych poniżej warunków, parametry wyjściowe  $y_{WY} \in Y_{WY}$  wstępnie traktować jako parametry diagnostyczne oraz określić punkty pomiarowe maszyny. Warunkami tymi są:

- Warunek jednoznaczności – każdej wartości parametru struktury  $w_i \in W$  odpowiada tylko jedna zdeterminowana wartość parametru wyjściowego  $y_{WY} \in Y_{WY}$ .
- Warunek szerokości pola zmian – największa względna zmiana wartości parametru wyjściowego  $y_{WY} \in Y_{WY}$  dla zadanej wartości parametru struktury  $w_i \in W$ .
- Warunek dostępności pomiaru parametru wyjściowego - charakteryzuje się poprzez wskaźnik kosztu pomiaru  $c_i$  lub czasu pomiaru  $t_i$ , przy czym narzuca się minimalizację tych wskaźników.

Spełnienie przedstawionych powyżej warunków pozwala na wstępne wyróżnienie ze zbioru  $Y_{WY}$  zbioru parametrów diagnostycznych, zaś na podstawie wyników badań i ustaleń poczynionych w pracy [6], mających na celu potwierdzenie niektórych propozycji zawartych w pracach dotyczących redukcji informacji diagnostycznej [5], uważa się że wyznaczanie zbioru symptomów w procesie diagnozowania i prognozowania stanu maszyn powinno uwzględniać:

- zdolność odwzorowania zmian stanu maszyny w czasie eksploatacji;
- ilość informacji o stanie maszyny;
- odpowiednią zmienność wartości symptomów w czasie eksploatacji maszyny.

Odpowiednie algorytmy uwzględniające te postulaty zostały przedstawione przykładowo jako metody. Są to:

### Metoda maksymalnej wrażliwości wartości parametru diagnostycznego na zmianę stanu technicznego

Istota metody polega na tym, że ze zbioru symptomów układu lub zespołu maszyny wybiera się ten symptom, który charakteryzuje się największą wartością wskaźnika  $a_j$ , uwzględniającego zależność symptomów od stanu:

$$a_j = \sum_{i=1}^k M(i, j) ; i=1, 2, \dots, k; j=1, \dots, m \quad (3)$$

gdzie:

$M(i, j) \in [M(i, j)]_{k \times m}$  - element binarnej macierzy diagnostycznej układu maszyny.

### Metoda maksymalnej pojemności informacyjnej symptomu

Istota metody polega na wyborze parametru diagnostycznego dostarczającego największą ilość informacji o stanie maszyny. Symptom ma tym większe znaczenie w określeniu zmiany stanu, im

silniej jest z nim skorelowany i im słabiej jest skorelowany z innymi symptomami. Zależność tę przedstawia się w postaci wskaźnika integralnej pojemności symptomu  $h_j$ , który jest modyfikacją dokonaną dla potrzeb redukcji symptomów w procesie rozpoznawania stanu podobnego wskaźnika odnoszącego się do zbioru zmiennych objaśniających model ekonometryczny:

$$h_j = \left| \frac{r_j^2}{1 + \sum_{i,j=1}^m |r_{i,j}|} \right| \quad (4)$$

gdzie:  $r_j = r(W, y_j)$ ;  $j = 1, \dots, m$  - współczynnik korelacji między zmiennymi  $W$  (stan maszyny) i  $y_j$   
 $r_{i,j} = r(y_i, y_j)$ ;  $i, j = 1, \dots, m$ ;  $i \neq j$  - współczynnik korelacji między zmiennymi  $y_i$  i  $y_j$

W przypadku braku danych ze zbioru  $W$ , przy założeniu że wyznaczenie diagnozy jest realizowane w przedziale zużycia normalnego maszyny [5,6], zastępowane są wartościami  $\Theta_i \in (\Theta_1, \Theta_b)$ . Wówczas  $r_j = r(\Theta_i, y_j)$ ;  $j=1, \dots, m$ ;  $i=1, \dots, K$  ( $r_j$  - współczynnik korelacji między zmiennymi  $\Theta_i \in (\Theta_1, \Theta_b)$  ( $\Theta_i$  - czas pracy maszyny) i  $y_j$ ).

### 3. METODY WYZNACZANIA TESTU KONTROLI STANU I LOKALIZACJI USZKODZEŃ

Złożoność układów maszyn jak i złożoność zachodzących w nich procesów powodują, że występujące zależności między parametrami diagnostycznymi a cechami stanu są z reguły zależnościami stochastycznymi. Zależności te w praktyce diagnozowania maszyn, zgodnie z teorią diagnostyki technicznej, zależnie od stopnia zakłóceń sygnałów diagnostycznych mogą być określane poprzez macierz obserwacji:

- boolowskiej – przy małym stopniu zakłóceń wartości parametrów diagnostycznych;
- prawdopodobieństw – przy wysokim stopniu zakłóceń wartości parametrów diagnostycznych;
- obserwacji zmian wartości parametrów diagnostycznych w czasie eksploatacji maszyn.

Uważa się, że z uwagi na ograniczenia wynikające z trybu eksperymentu biernego, wystarczającą będzie analiza metody macierzy obserwacji boolowskiej i metody macierzy obserwacji relacji parametr diagnostyczny – czas eksploatacji maszyn.

**Macierz boolowska** jest określona za pomocą zbioru relacji pomiędzy zbiorem parametrów diagnostycznych  $Y = \{y_n\}$ ;  $n = 1, \overline{N}$  i zbiorem

stanów  $S = \{s_i\}$ ;  $i = 1, \overline{I}$ . Zależności między stanami i parametrami przyjmują wartości:

- 1 – gdy zmiana stanu  $s_i$  powoduje zmiany wartości parametru diagnostycznego  $y_j$ ;
- 0 – gdy zmiana stanu  $s_i$  nie powoduje zmiany wartości parametru diagnostycznego  $y_j$ .

W binarnej macierzy diagnostycznej  $y_n$  jest sumą logiczną parametrów stanu  $s_i$ , parametr stanu  $s_m$  natomiast jest iloczynem logicznym parametrów diagnostycznych  $y_i$ .

**Metoda obserwacji relacji wartość parametru diagnostycznego – czas eksploatacji maszyny** polega na określeniu macierzy obserwacji, dla różnych wartości czasu  $\Theta_n$ , przy których następują uszkodzenia maszyny (odnoszące się do wyróżnionych poziomów jej dekompozycji) zmieniające wartość parametrów diagnostycznych wpływające na bezpieczeństwo pracy maszyny. Wyznaczona tak macierz obserwacji może stanowić podstawę do wyznaczenia testu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń, określenia intensywności uszkodzeń maszyny oraz wyznaczenia terminu wycofania maszyny z eksploatacji. Wartości graniczne parametrów diagnostycznych ustala się dla stanu maszyny spełniającej wymagania producenta i mają one swoje odniesienie do czasu zdatności maszyny. Zależności między stanami maszyny i parametrami diagnostycznymi, przy uwzględnieniu czasu  $t_n$  przyjmują wartości:

- 1 – gdy zmiana stanu  $s_i$  powoduje zmiany wartości parametru diagnostycznego  $y_j$ ;
- 0 – gdy zmiana stanu  $s_i$  nie powoduje zmiany wartości parametru diagnostycznego  $y_j$ ;

Opis i interpretacja stanów  $\{s_i\}$  jest zgodna z dotychczas przyjętymi ustaleniami, przy czym dopuszcza się dla czasów ( $\Theta_2$ ) zbiory wieloelementowe, zaś przekroczenie wartości granicznej mierzonych parametrów diagnostycznych  $\{y_j\}$  oznacza wejście zespołów maszyny w stan przyspieszonego zużycia ( $\Theta_3$ ). Taka postać macierzy obserwacji wydaje się być szczególnie przydatna przy badaniach relacji stan – parametr diagnostyczny w przypadku eksperymentu bierno – czynnego lub biernego, co często ma miejsce w przypadku maszyn.

**Metoda macierzy boolowskiej** zapewnia wyznaczenie testu kontroli stanu  $D_{KS}$  i testu lokalizacji uszkodzeń  $D_{LU}$ . W pierwszym przypadku na podstawie macierzy binarnej  $M_b^d$  należy utworzyć macierz boolowską  $M_b^{KS}$  do kontroli stanu, w której w miejsce stanów wprowadza się podzbiór par rozróżnialnych stanów  $S_o, S_i, i = 1, \overline{k}$ . Występujące w elementach macierzy  $M_{bij}^{KS} \in M_b^{LU}$  jedynki oznaczają rozróżnialność stanu  $s_i \in S$  przy pomocy parametru  $y_j \in Y$ , zaś zera –

nierozróżnialność. Analizując następnie macierz  $M_b^{LU}$ , do testu  $D_{LU}$  wybiera się taki parametr  $y_j \in Y$ , który w kolumnie posiada maksymalną liczbę jedynek. W przypadku, gdy j-ta kolumna nie zawiera samych jedynek, należy szukać brakujących jedynek w n - tej kolumnie lub w n + 1 kolumnie. W przypadku ich występowania dołącza się n - ty i n + 1 - ty parametry do testu  $D_{LU}$ . Wówczas test  $D_{LU}$  przyjmuje postać:

$$D_{KS} = \{y_i, y_n, y_{n+1}\} \quad (5)$$

$$DKS = \{d_j, d_n, d_{n+1}\} \quad (6)$$

gdzie:

$d_j$  - oznacza sprawdzenie j-tego parametru diagnostycznego

**Metoda klasyfikacji stanów maszyn** polega na tym, iż w wyniku wyznaczenia zbioru parametrów diagnostycznych za pomocą metody podobieństwa wartości podobieństwa stanów uzyskuje się pary relacji: stan zdatności  $S^0$  – stany niezdatności  $S_i$ ,  $i = \overline{1, k}$ , co pozwala określić zbiór parametrów diagnostycznych  $\{y_j\}$  (w szczególnym przypadku jednoelementowy) do wyznaczenia testu  $D_{KS}$ :

$$D_{KS} = \{y_i\} \quad (7)$$

$$DKS = \{d_j\} \quad (8)$$

gdzie:  $d_j$  – sprawdzenie wartości parametru  $y_j$ .

W przypadku określania elementów testu  $D_{LU}$  w wyniku realizowanej metody klasyfikacji stanów (podzbiory par stanów  $S_i, S_j$ ;  $i = \overline{1, k}$ ;  $j = \overline{1, k}$ ;  $i \neq j$ ) uzyskuje się zbiór parametrów diagnostycznych  $\{y_j\}$  do wyznaczenia testu  $D_{LU}$ . Wówczas test  $D_{LU}$  przyjmuje postać:

$$DLU = \{y_j\} \quad (9)$$

$$DLU = \{d_j\} \quad (10)$$

Reasumując przedstawione powyżej rozważania dotyczące metod wyznaczania testów diagnostycznych należy stwierdzić, że ze względu na preferencję przy wyborze parametrów diagnostycznych metody podobieństwa oraz badania relacji wartość parametru diagnostycznego – czas eksploatacji maszyny – stan maszyny, należy wybrać metodę klasyfikacji stanów układu.

#### 4. OPTIMALIZACJA PROCESU WYZNACZANIA PROCEDUR DIAGNOZOWANIA STANU MASZYN

Formułując zadanie optymalizacyjne trudno jest określić jedną skalarną funkcję jakości  $F$ , bowiem rozwiązania dopuszczalne  $X$  (metody wyboru symptomów, metody wyznaczania testów diagnostycznych) mogą mieć wiele różnych właściwości, których wartości świadczą o jakości

rozwiązania. Stąd też zachodzi konieczność sformułowania w tym przypadku zadania optymalizacyjnego z wieloma (np.  $N$ ) wskaźnikami jakości w postaci funkcji kryterium  $F: X \rightarrow R^N$  [1,5].

Funkcja ta przyporządkowuje każdemu rozwiązaniu dopuszczalnemu  $x \in X$  jego liczbową ocenę w postaci wektora:

$$F(x) = (F_1(x), \dots, F_n(x), \dots, F_N(x)) \in R^N \quad (11)$$

gdzie:

$N = \{1, \dots, n, \dots, N\}$  -zbiór numerów wskaźników jakości

$F_n(x)$  - wartość n - tego wskaźnika jakości (n - tej funkcji kryterium dla rozwiązania  $x \in X$ ).

W przypadku optymalizacji wielokryterialnej procesu diagnozowania zbiór rozwiązań dopuszczalnych  $X$  stanowią zbiory [5]:

$$X = \{X_1, X_2\} \quad (12)$$

gdzie:  $X_1 = \{x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{1,n}\}$  - zbiór metod wyznaczania symptomów,

$X_2 = \{x_{2,1}, x_{2,2}, \dots, x_{2,m}\}$  - zbiór metod wyznaczania testów diagnostycznych,

W przypadku dysponowania zbiorami  $F_1, F_2$ , można określić wektorowy wskaźnik jakości rozwiązania zadania optymalizacyjnego  $F$  jako:

$$F = (F_1, F_2) \quad (13)$$

i wyznaczyć funkcje kryterialne  $F_1, F_2$ , np. jako:

$$F_1 = \{f_{1,1}, f_{1,2}\}, F_2 = \{f_{2,1}, f_{2,2}\} \quad (14)$$

gdzie:  $f_{1,1}$  – kryterium zmienności wartości parametru diagnostycznego,

$f_{1,2}$  – kryterium skorelowania parametru diagnostycznego ze stanem technicznym maszyny,

$f_{2,1}$  – kryterium spadku skuteczności informacyjnej,

$f_{2,2}$  – kryterium spadku skuteczności probabilistycznej.

Wówczas zadanie optymalizacyjne procesu wyznaczania procedur rozpoznawania stanu maszyn przedstawia się jako czwórkę zadań polioptymalizacji:

$$\langle (X_1, F_1, \Phi_1), (X_2, F_2, \Phi_2) \rangle \quad (15)$$

$X_1 = \{x_{1,1}, x_{1,2}, x_{1,3}, x_{1,4}\}$  – zbiór metod wyboru parametrów diagnostycznych;

$X_2 = \{x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}, x_{2,4}\}$  – zbiór metod wyznaczania testów diagnostycznych;

$F_1$  – funkcja kryterialna wyboru parametrów diagnostycznych:  $F_1: X_1 \Rightarrow R^2$ ,

$F_1(X_1) = (f_{1,1}(X_1), f_{1,2}(X_1))$   
 $F_2$  – funkcja kryterialna wyznaczania testów  
 diagnostycznych:  $F_2: X_2 \Rightarrow R^2$

$F_2(X_2) = (f_{2,1}(X_2), f_{2,2}(X_2))$   
 $\Phi_1$  – relacja dominowania zadania  
 optymalizacyjnego określenia zbioru  
 parametrów diagnostycznych;

$\Phi_2$  – relacja dominowania zadania  
 optymalizacyjnego metody budowy testu  
 Rozwiązanie zadań polioptymalizacji realizuje się  
 wówczas według następującego algorytmu (np. dla  
 wyznaczenia optymalnej metody wyboru  
 parametrów diagnostycznych):

1. Normalizacja przestrzeni kryterialnej - przestrzeń  
 $D^*$ , zaś zbiór wyników unormowanych  $D^{*i}$ :

$$D^* = \{d^{*i}\}, i=1, \dots, n; d^{*i} = (d_1^{*i}, d_2^{*i}) \quad (16)$$

2. Określenie współrzędnych punktu idealnego -  $d^{**}$ :

$$d^{**} = (d_1^{**}, d_2^{**})$$

$$d_1^{**} = \min_{x \in X_1} f_{1,1}^*(x), d_2^{**} = \min_{x \in X_1} f_{1,2}^*(x) \quad (17)$$

3. Obliczenie wartości normy  $|\bullet|_z$  parametrem  $p=2$   
 $- r_i(D^*)$ . Norma  $|\bullet|_z$  jest miarą odległości wyników  
 $d^* \in D^*$  od punktu idealnego  $d^{**}$ :

$$r_i(D^*) = |d^{**} - d^{*i}| \quad (18)$$

4. Określenie wyniku optymalnego  $x^0$  w zadaniu  
 optymalizacji metod prognozowania -  $x_1^0$ :

$$x_3^0 = d^0 = \min r_i \quad (19)$$

#### 4. ALGORYTM PROCEDURY WYZNACZANIA TESTU DIAGNOSTYCZNEGO MASZYN

Algorytm metodyki wyznaczania  
 optymalnego zbioru symptomów i optymalnego  
 testu diagnostycznego zawiera następujące etapy  
 [1,5]:

- wyznaczenie optymalnego zbioru parametrów  
 diagnostycznych dla przedstawionych metod  
 wyboru;
- wyznaczenie testów diagnostycznych według  
 przedstawionych metod wyznaczania testów  
 diagnostycznych;
- wyznaczenie optymalnego testu  
 diagnostycznego.

#### 5. PODSUMOWANIE

Rozpatrując problematykę budowy procedur  
 rozpoznawania jako części ogólnej teorii procesu  
 eksploatacji maszyn, należy zwrócić uwagę na  
 czynniki warunkujące jej rozwój, przy czym do  
 najważniejszych można zaliczyć:

- zainteresowanie służb logistycznych  
 rozpoznawaniem stanu maszyn;
- odpowiednia bazy merytorycznej dla  
 podejmowania takich zadań;

c) odpowiednie środki techniczne  
 zabezpieczających ich realizację;

d) odpowiednio przygotowane kadry  
 specjalistów mogących w sposób właściwy  
 podejmować takie zadania.

Przedstawiona w opracowaniu metodyka  
 budowy procedur rozpoznawania stanu maszyn  
 w aspekcie wyznaczania testów diagnostycznych,  
 może być wykorzystywana do budowy  
 oprogramowania pokładowych i stacjonarnych  
 systemów diagnostycznych monitorujących pracę  
 maszyn. Nieodzowne jest więc komputerowe  
 wspomaganie tego procesu w oparciu  
 o odpowiednie oprogramowanie, umożliwiające  
 interaktywny dostęp do procedur bibliotecznych za  
 pośrednictwem języka poleceń zbliżonego do  
 konwencjonalnej notacji matematycznej. Wymaga  
 to oczywiście odpowiednich badań i budowy  
 algorytmów niezbędnych do opracowania  
 oprogramowania i wymagań sprzętowych  
 systemów diagnostycznych.

#### LITERATURA

- Ameljańczyk A.: Optymalizacja  
 wielokryterialna, WAT, Warszawa 1986.
- Będkowski L.: Elementy diagnostyki  
 technicznej, WAT, Warszawa 1991.
- Cempel C.: Ewolucyjne modele symptomowe  
 w diagnostyce maszyn, Materiały I Kongresu  
 Diagnostyki Technicznej, Gdańsk 1996.
- Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z.,  
 Cholewa W. (red.): Diagnostyka procesów. WNT,  
 Warszawa 2002.
- Tylicki H.: Optymalizacja procesu  
 prognozowania stanu technicznego pojazdów  
 mechanicznych. Wydawnictwa uczelniane ATR.  
 Bydgoszcz 1998.
- Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn.  
 Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego  
 KBN nr 4 T07B 033 26



Dr hab. inż. Henryk Tylicki,  
 prof. nadzw. ATR w  
 działalności naukowej  
 zajmuje się problemami  
 diagnostyki technicznej,  
 eksploatacji maszyn i  
 optymalizacji systemów  
 transportowych. Ma w  
 swoim dorobku ponad 150  
 publikacji, w tym 9 pozycji  
 książkowych (własne  
 i współautorskie), 60 publikacji naukowych, 86  
 publikacji naukowo-technicznych i  
 konferencyjnych. Wypromował kilkudziesięciu  
 absolwentów studiów magisterskich i

inżynierskich, recenzuje prace naukowo-badawcze, promocyjne, a także dorobek naukowy. Interesuje się sportem (tenis ziemny, żeglarstwo, narty) i czyta literaturę piękną.